

لغزش "شبه گوه ای سرچشمه"، چالشی در گسترش ناحیه غربی معدن مس سرچشمه

نیما بابا نوری^۱؛ سعید کریمی نسب^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه شهید باهنر کرمان; manima_1086@yahoo.com

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان; kariminasab@mail.uk.ac.ir

چکیده

ساختارهای مهمی چون گسلها و دایکها به همراه دسته درزه های گوناگون در اندرکنش با هندسه کاواک معدن نیاز به طراحی و تحلیل پایداری از نقطه نظر ساختاری را اجتناب ناپذیر کرده است. ناحیه غربی معدن مس سرچشمه دربرگیرنده انواع متنوعی از ریزشهای غالباً ساختاری همچون لغزش "شبه گوه سرچشمه" است. این نوع لغزش متشکل از قطعات بزرگ و سست سنگ بشدت دزره دار و آلتزه شده آندریتی است که توسط یک گسل و دزره های مهمی در برگرفته شده است. وجود و گسترش گسل های تقریباً موازی، با پر شدگی های رسی-پیریستی در دیواره غربی معدن مس سرچشمه، با هندسه دیواره غربی شرایط لغزش خاصی را بوجود آورده است که در طرح گسترش معدن ضروری است مورد توجه خاص قرار گیرد. تحلیل این نوع لغزش به کمک روشهای تعادل حدی از محدودیت بر خوردار است. در این مقاله به تحلیل لغزش "شبه گوه ای سرچشمه" با روش سه بعدی المان های مجزا پرداخته شده است. تاثیر پارامتر های موثر بر پایداری این نوع لغزشها بصورت کمی محاسبه و در نهایت راهکار مناسب پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: لغزش شبه گوه ای، معدن سرچشمه، مدل سازی عددی، المان های مجزا، هندسه کاواک، پایداری شیب.

Sarcheshmeh Pseudowedge Failure, A New Challenge In Expanding Western Area Of Sarcheshmehcopper Mine

Babanouri N., Karimi Nasab S.

Abstract

At Sarcheshmeh mine, the design and stability analysis is very critical due to the existence of major features such as faults and dikes, and relation of various joint sets with the geometrical form of the pit. Western area of Sarcheshmeh mine includes various types of failures, commonly structural failure type such as Sarcheshmeh pseudowedge failure. This type of failure consists of large and weak blocks of weathered highly jointed andesite surrounded by a fault and important joints. Existence and extension of near parallel faults filled with pyrite-clay in the western wall of Sarcheshmeh mine along with the geometry of this wall results in special slide conditions which need to be considered in the expansion of the mine. There are some limitations in the analyses of this type of sliding using limit equilibrium methods. This paper analyzes Sarcheshmeh pseudowedge failure using three dimensional distinct elements method. The influence of effective parameters on the stability of such failures is quantitatively calculated and proper solutions are discussed.

Keywords: Pseudowedge Failure, SarcheshmehCopper Mine, Numerical modeling, Slope stability.

۱- مقدمه

ناحیه غربی معدن مس سرچشمه در برگیرنده انواع متنوعی از ریزش های غالباً ساختاری همچون لغزش «شبه گوه سرچشمه» است. این نوع لغزش متشکل از قطعات بزرگ و سست سنگ به شدت درزه دار و آلتزه شده آندزیتی است. در این ناحیه همانطور که در شکل ۱ مشخص است؛ به علت عملکرد یک گسل با توده سنگ در برگیرنده دیواره پله ها و یک دسته درزه شرایطی به وجود آمده است که قطعات متعدد منشور گونه سنگ، بر صفحه گسل به صورت پیشرونده لغزیده اند [۲]. قسمت های عمده این لغزش نادر، به لحاظ سینماتیکی پایدارند ولی در عمل و باگذشت زمان ناپایدار می شوند و از این جهت نمی توانند مورد تحلیل سینماتیک قرار داد. تحلیل تعادل حدی (مانند روش قطعه ها) پایداری را بر اساس ایستایی و بدون در نظر گرفتن رابطه آن با جابجایی ها بر آورد می کند و در نهایت ضریب اطمینان محاسبه می شود. بنابراین وقتی در یک شیب حرکت تشخیص داده می شود؛ روش های تعادل حدی برای ارزیابی تاثیر چنین حرکت هایی بر پایداری کلی مناسب نیستند [۷]. نمونه ای از این قبیل تحلیل بر روی لغزش شبه گوه ای سرچشمه قبلاً صورت گرفته است [۱].



شکل ۱- تصویر دیواره غربی معدن مس سرچشمه و لغزش شبه گوه ای آن

برای تحلیل این لغزش روش ها و ابزارهای عددی موجود هستند که قادر به ارزیابی ومدلسازی این پدیده منطبق با مشاهدات می باشند.

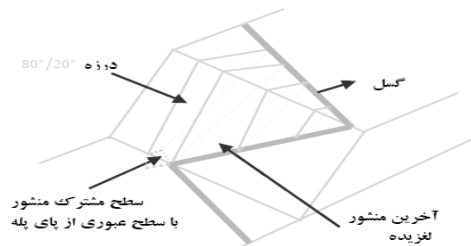
در این نوشتار به تحلیل لغزش شبه گوه ای سرچشمه با روش سه بعدی المان های مجزا پرداخته می شود. و تاثیر پارامتر های موثر بر پایداری بصورت کمی محاسبه می شوند و در نهایت می توان به انتخاب راهکار مناسب اقدام نمود.

۲- شبه گوه سرچشمه [۲]

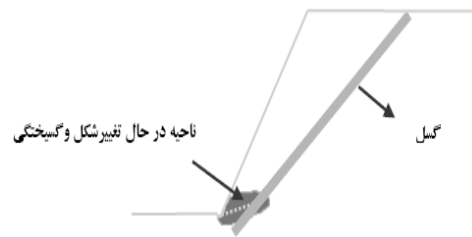
در دیواره غربی معدن مس سرچشمه به علت عملکرد گسلی با توده سنگ در برگیرنده دیواره پله ها، که از دسته درزه های متعددی تشکیل شده، شرایطی به وجود آمده است که قطعات متعدد منشور گونه سنگ، بر صفحه گسل به صورت پیشرونده لغزیده اند. در این نوع ریزش خط مشترک دو صفحه لغزش همیشه بر صفحه گسل واقع شده و از پای پله خارج نمی شود (شکل ۲). گسل با شیب و جهت شیب ۴۵/۷۵ با ماده پر کننده ای غالباً رسی با مشخصات مکانیکی $C=14 \text{ KPa}$ و $\phi = 20^\circ$ به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی متر می باشد.

دسته درزه مهمی که با صفحه گسل، شرایط تشکیل گوه را فراهم کرده است دارای شیب و جهت شیب ۸۰/۲۰ می باشد.

شیب و جهت شیب دیواره پله در محل تشکیل شبه گوه سرچشمه عبارت است از ۶۵/۴۰ مشخصات هندسی دیواره در محدوده مورد مطالعه در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳: مشخصات هندسی و منشورگونه ها



شکل ۴- خط مشترک دو صفحه لغزش همیشه

بر صفحه گسل واقع شده و

از پای پله خارج نمی شود.

۳- تحلیل عددی لغزش شبه گوه ای

فرمول بندی المان های مجزا برای ارزیابی رفتار توده سنگ درزه دار در مقایسه با سایر روش ها نظیر اجزا محدود مناسب تر است [۷]. با توجه به ویژگی های هندسی این لغزش استفاده از یک روش تحلیل سه بعدی ضروری بود. در این مورد به علت نیاز به تحلیل جابجایی شبه گوه از نرم افزار 3DEC استفاده شد که امکان مدل کردن جابجایی ها و چرخش های بزرگ (شامل جدایش کامل) بلوک های مجزای صلب و یا تغییر شکل پذیر را فراهم می کند [۶]. در مقطعی از مدل، تحلیل با نرم افزار UDEC که نسخه دو بعدی 3DEC است، صورت پذیرفت.

۳-۱- مدل دو بعدی تغییر شکل پذیر

همان طور که پیشتر عنوان شد؛ در پای پله یک ناحیه در حال تغییر شکل و گسیختگی وجود دارد که در اثر آلتراسیون و تمرکز تنش در پای پله به وجود آمده است. برای شبیه سازی این پدیده یک مدل تغییر شکل پذیر دو بعدی از یک مقطع قائم، عمود بر امتداد دیواره (نظیر شکل ۲) در UDEC ساخته شد (شیب ظاهری گسل در این صفحه نیز منظور گردید). پارامترهای ورودی UDEC در این مرحله برای توده سنگ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- پارامترهای ورودی UDEC مربوط به توده سنگ [۳]

چگالی (kg/m^3)	ϕ ($^\circ$)	C(MPa)	G(GPa)	K(GPa)	جنس سنگ
۲۷۰۰	۴۸/۹۴	۶/۶	۰/۵۸۹	۱/۷۱	آندزیت

گسل با یک لایه رسی به ضخامت ۱۵ سانتی متر پر شده است وقتی ضخامت پر کننده (t) از دامنه ناهمواری سطح (a) بیشتر شود؛ مقاومت درزه توسط مواد پرکننده کنترل می شود. وقتی نسبت ضخامت به دامنه ($\frac{t}{a}$) به ۳ برسد مقاومت کاهش پیدامی کند و برابر مقاومت ماده پرکننده می شود [۵].

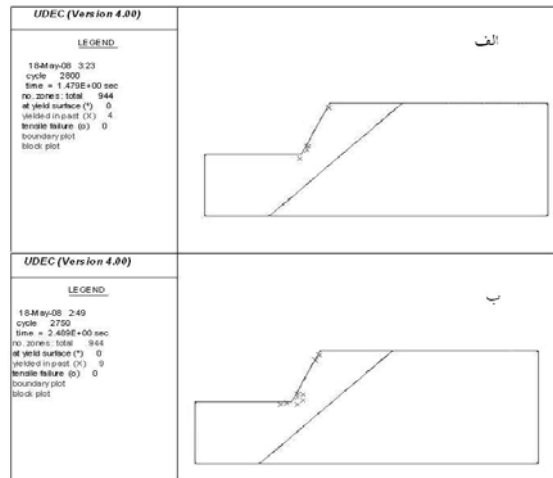
بنابراین مشخصات مقاومتی پرکننده که در بخش [۰] ذکر شد برای گسل در نظر گرفته شد. دو پارامتر سختی برشی (jks) و سختی نرمال درزه (jkn) نیز مورد نیاز است که مجهول می باشند. در این مرحله از تحلیل با توجه به هندسه مدل و شرایط مرزی امکان لغزش بسیار محدودی روی گسل وجود دارد. و هدف مطالعه تمرکز تنش در توده سنگ است، نه جابجایی ها. بنابراین دانستن مقادیر سختی گسل در اینجا تاثیر گذار نیست ولی در مرحله تحلیل بلوکی برای پیدا کردن مقادیر سختی نرمال و برشی گسل با ماده پر کننده از یک روش استفاده شد که در بخش [۰] توضیح داده می شود.

نقاطی که در شکل ۴-الف مشخص شده اند مربوط به نواحی هستند که دچار تسلیم شده اند و عمدتاً در پای پله قرار دارند حال اگر تاثیر آلتراسیون با کاهش خواص مقاومتی پله مدل شود محدوده تسلیم افزایش می یابد؛ شکل ۴-ب. با توجه به تمرکز تنش در پای پله و افزایش گسیختگی با فرسایش و همچنین فاصله کم پله تا گسل، در مرحله تحلیل بلوکی این ناحیه با یک درزه از

پای پله تا سطح گسل مدل شد. شکل ۵ ناحیه در حال گسیختگی و تغییر شکل را نشان می دهد.



شکل ۵- تصویر ناحیه در حال تغییر شکل و گسیختگی در پای پله .



شکل ۴- مقطع عمود بر امتداد پله و نواحی

که تسلیم شده اند. (الف) خواص مقاومتی

اولیه (ب) خواص مقاومتی کاهش یافته

۳-۲- مدل سه بعدی صلب

با توجه به سطحی بودن ناحیه مورد مطالعه و پایین بودن سطح تنش، تغییر شکل الاستیک سنگ بکر در مقایسه با تغییر شکل در طول درزه ها قابل نظر است و یک مدل بلوکی صلب برای تحلیل لغزش مناسب می باشد. با توجه به ماهیت سه بعدی لغزش شبه گوه ای سرچشمه این کار با استفاده از نرم افزار 3DEC انجام گرفت. همان طور که در قبلا عنوان شد برای این که امکان تحلیل بلوکی وجود داشته باشد؛ منطقه در حال گسیختگی با یک درزه از پای پله تا صفحه گسل شبیه سازی شد که مشخصات مقاومتی این درزه همانند دسته درزه موجود در توده سنگ در نظر گرفته می شود. برای مدل رفتاری درزه ها، مدل لغزش صفحه ای کلمب انتخاب شد. پارامترهای مقاومتی ورودی 3DEC مربوط به دسته درزه پله در جدول ۲ آمده است و فاصله داری درزه برابر ۲ متر می باشد [۳]. پارامتر مربوط به سنگ در اینجا فقط چگالی آن است که معادل kg/m^3 ۲۷۰۰ در نظر گرفته شد و پارامترهای مربوط به گسل را خواص ماده پرکننده آن تعیین می کنند.

جدول ۲- پارامترهای مقاومتی ورودی مربوط به دسته درزه در 3DEC [۳]

Jkn(GPa/m)	Jkn(GPa/m)	ϕ (°)	C(MPa)
۰/۳۷	۳/۷	۲۵/۱۷	۰/۰۵

شکل ۶ شبه گوه شبیه سازی شده در 3DEC را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود؛ بلوک های لغزنده دو نوع اند؛ بلوک های گوه ای که به لحاظ سینماتیکی فعال اند و بلوک های منشور گونه که از نظر سینماتیکی غیر فعال اند. در اینجا، هدف، بررسی رفتار بلوک های منشور مانند بود. همانطور که مشاهده می شود این بلوک ها به تدریج با افزایش وزن و سطح تماس با پای پله متوقف می شوند که این امر مطابقت خوبی با مشاهدات دارد.

حجم بلوک های لغزنده ۲۰۰-۵۰ متر مکعب و وزن آنها ۵۰۰-۱۰۰ تن توسط 3DEC محاسبه می شود.

شکل ۶- مدل شبه گوه سرچشمه، شبیه سازی شده در 3DEC

۳-۳- محاسبه ضرایب سختی گسل با استفاده از تحلیل برگشتی

در تحلیل بلوکی که هدف مطالعه جابجایی ها است دانستن مقدار ضرایب سختی گسل (به عنوان سطح اصلی لغزش) اهمیت می یابد. در این بین اهمیت سختی برشی (k_s) بیشتر است و سختی نرمال (k_n) نقش کوچکی در مدلسازی جابجایی های برشی دارد و همانطور که قبلا بحث شد به علت ضخامت بسیار زیاد ماده پرکننده رسی نسبت به دامنه ناهمواری، رفتار برشی گسل تماما توسط ماده پرکننده تعیین می شود. پس انتظار می رود که رفتار گسل به علت پرکننده رسی، بسیار پلاستیک بوده و ضرایب سختی بسیار پایینی داشته باشد.

برای ضرایب سختی این گسل چیزی گزارش نشده است. در این قسمت بر اساس جابجایی های مشاهده شده و با در نظر گرفتن نسبت سختی نرمال به سختی برشی $10 \left(\frac{k_n}{k_s} = 10 \right)$ ؛ یک تحلیل بازگشتی برای محاسبه حدود ضرایب سختی انجام شد. با در نظر گرفتن یک محدوده برای جابجایی های قائم و افقی (بر اساس مشاهدات)، مقدار سختی برشی $K_s=1-5$ KPa/m و مقدار سختی نرمال $K_n=10-50$ KPa/m بدست آمد. همانطور که پیش بینی می شد مقدار ضرایب سختی گسل بسیار پایین هستند.

۳-۴- محاسبه ضریب اطمینان

به منظور کمی کردن لغزش در هر حالت و مطالعه تاثیر پارامترهای مختلف بر پایداری نیاز به یک ضریب اطمینان است. داسن [۴] پیشنهاد کرده است که برای نرم افزارهای عددی، مانند 3DEC ضریب اطمینان ($F\phi$) بوسیله رابطه (۱) تعریف شود

$$F_{\phi} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_f} \quad (1)$$

که در آن

ϕ : زاویه اصطکاک واقعی

ϕ_f : زاویه اصطکاک در آستانه گسیختگی

بدین ترتیب وقتی که لغزش اتفاق می افتد مقدار زاویه اصطکاک از مقدار واقعی (ϕ) افزایش داده می شود تا شیب در آستانه لغزش قرار گیرد و ϕ_f محاسبه می شود (عکس روش کاهش مقاومت). و وقتی شیب پایدار است زاویه اصطکاک از مقدار واقعی کاهش داده می شود تا در آستانه لغزش، ϕ_f محاسبه شود (روش کاهش مقاومت).

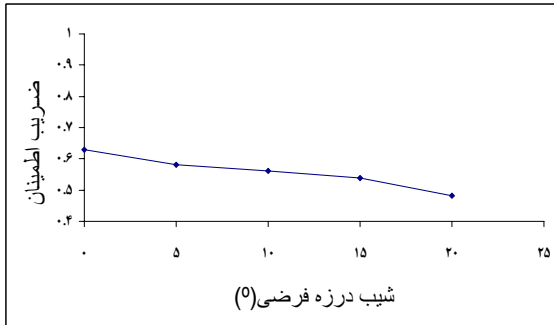
در این مورد که سطح اصلی لغزش، گسل است این روش با زاویه اصطکاک گسل برای لغزش شبه گوه ای سرچشمه صورت گرفت و در محدوده ضرایب سختی به دست آمده از تحلیل بازگشتی، ضریب اطمینان شبه گوه سرچشمه $S.F=0/55_{0.6}$ محاسبه شد.

شکل ۷، میزان جابجایی حداکثر را بر حسب زاویه اصطکاک (ϕ) برای شبه گوه سرچشمه نشان می دهد همانطور که در شکل مشخص است زاویه اصطکاک آستانه گسیختگی ϕ_f برابر ۳۲ درجه است و ضریب اطمینان مربوط به آن ۱ می باشد.

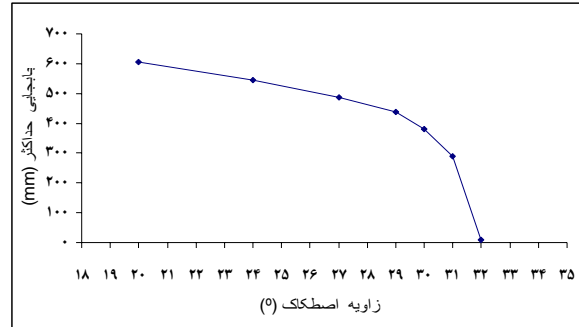
شکل ۸، تغییرات ضریب اطمینان را با شیب درزه فرض شده در پای پله نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش شیب این درزه، ضریب اطمینان کاهش می یابد اما تغییرات آن بسیار کم است به نحوی که همیشه (حتی در شیب صفر درزه فرضی) ضریب اطمینان کمتر از ۱ است. این امر شاید به علت خصوصیات مقاومتی بالای این درزه است (که برابر با خواص دسته درزه در نظر گرفته شد) و نشان می دهد که سطح اصلی لغزش همان صفحه گسل است و نقش این درزه بیشتر در فعال کردن سینماتیکی بلوک های لغزنده می باشد. در قسمت های بعدی تحلیل مقدار شیب این درزه ۱۰ درجه در نظر گرفته شد.

۴- بررسی راهکارهای مناسب برای مقابله با لغزش شبه گوه ای سرچشمه

در این قسمت به راهکارهایی که برای جلوگیری از این نوع لغزش ممکن است مطرح شوند پرداخته می شود. به علت تراکم ناپیوستگی های موجود و همچنین شدت هوازدگی در توده سنگ در حال لغزش، استفاده از تجهیزات مهار کننده لغزش، منتفی است و مناسب ترین و عملی ترین راهکار را باید در تغییر مشخصات هندسی محدوده لغزش جستجو کرد [2]. که در ادامه به این امر پرداخته شده است.



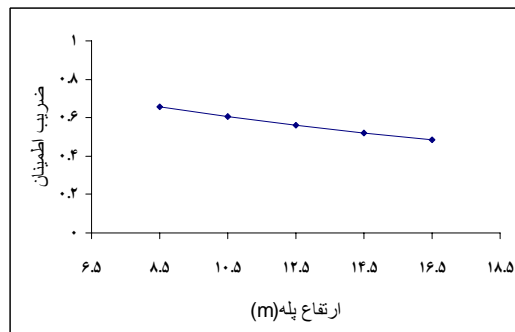
تغییرات ضریب اطمینان با شیب درزه فرض شده در پای پله



شکل ۷: نمودار حداکثر جابه جایی بر حسب زاویه اصطکاک

۴-۱- تأثیر ارتفاع پله

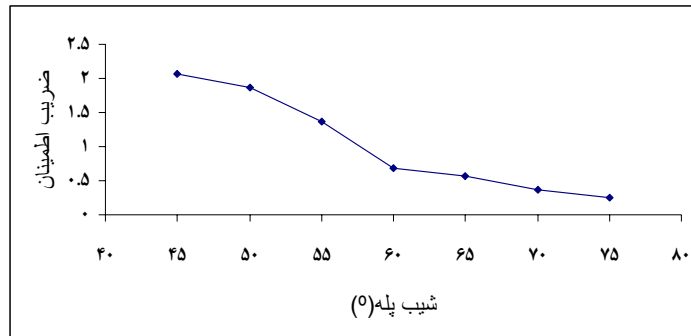
ارتفاع پله در دیواره غربی معدن مس سرچشمه برابر ۱۲/۵ متر است، همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود با افزایش ارتفاع پله ضریب اطمینان کاهش می یابد و با کاهش ارتفاع پله افزایش می یابد. اما شدت این تغییرات اندک است به نحوی که به نظر می رسد حتی با کاهش ارتفاع پله به نصف نیز همچنان ضریب اطمینان کوچک تر از ۱ باقی بماند.



شکل ۹- نمودار تغییرات ضریب اطمینان با ارتفاع پله

۴-۲- تأثیر شیب پله

شیب دیواره پله معدن برابر ۶۵ درجه است، همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود افزایش شیب دیواره باعث کاهش ضریب اطمینان و کاهش شیب باعث افزایش ضریب اطمینان می شود. حساسیت ضریب اطمینان نسبت به کاهش شیب بیشتر است به نحوی که با کاهش ۱۰ درجه در شیب پله می توان به ضریب اطمینان ۱/۳۵ رسید. از سوی دیگر با کاهش شیب پله احتمال تشکیل بلوک های گوه ای نیز کمتر می شود.

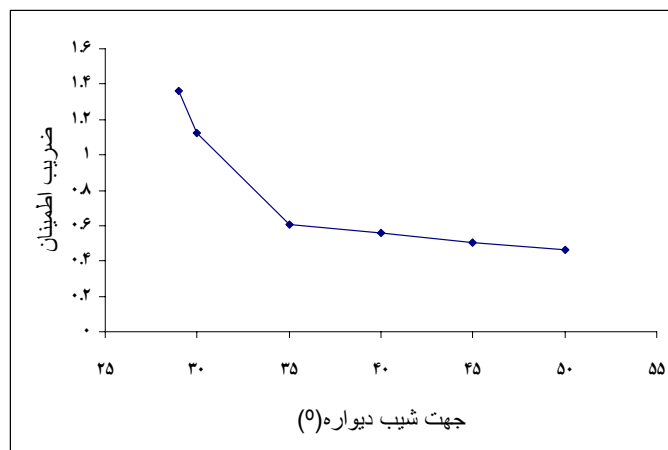


شکل ۱۰- نمودار تغییرات ضریب اطمینان با شیب پله

۴-۳- تأثیر امتداد دیواره

تأثیر تغییر امتداد دیواره بر ضریب اطمینان در شکل ۱۱ نشان داده شده است. جهت شیب دیواره پله در محل تشکیل شبه گوه ۴۰ درجه است. همان طور که در نمودار مشاهده می شود؛ با افزایش جهت شیب دیواره، ضریب اطمینان کاهش می یابد و با کاهش جهت شیب، ضریب اطمینان به شدت افزایش می یابد به نحوی که با ۱۰ درجه کاهش جهت شیب می توان به ضریب اطمینان ۱/۲ رسید.

نکته قابل توجه این است که با افزایش شیب پله بلوک های گوه ای بیشتر تشکیل می شوند و با کاهش جهت شیب به تدریج این بلوک های گوه ای حذف می شوند از این نظر هم کاهش جهت شیب دیواره در پایدار سازی مؤثر است زیرا بلوک های گوه ای که از نظر سینماتیک فعال هستند نسبت به بلوک های منشور مانند، ناپایدارترند.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات ضریب اطمینان با جهت شیب دیواره

۵- نتیجه

ضریب اطمینان در لغزش شبه گوه ای سرچشمه ۰/۶ - ۰/۵۵ است و روند لغزش به گونه ای است که ابتدا حرکت بلوک های گوه ای فعال سینماتیکی آغاز می شود و با لغزش بلوک های منشور گونه غیر فعال سینماتیکی ادامه می یابد اما به تدریج با افزایش ابعاد و وزن بلوک های منشور گونه خود به خود لغزش متوقف می شود. ابعاد بلوک های لغزنده ۲۰۰-۵۰ متر مکعب می باشد. از نقطه نظر ژئومکانیکی مؤثرترین راه مقابله با این لغزش تغییر در مشخصات هندسی محدوده لغزش در دیواره غربی

معدن مس سرچشمه است. کاهش ارتفاع پله نمی تواند باعث تأمین پایداری مورد نظر شود. کاهش ۱۰ درجه در شیب پله به طور قابل قبولی می تواند باعث تأمین پایداری شود اما با کاهش شیب، نسبت باطله برداری افزایش می یابد و از نظر اقتصادی قابل دفاع نیست. با تغییر ۱۰-۱۲ درجه در امتداد دیواره به نحوی که جهت شیب کاهش یابد؛ پایداری مورد نیاز تأمین می شود و از طرفی امکان تشکیل بلوک های گوه ای نیز کمتر می شود. با توجه به طرح گسترش در ناحیه غربی معدن مس سرچشمه و نیز وجود گسل های موازی با گسل مورد بحث در این مقاله، ضروری است مقدار زاویه چرخش راستای دیواره غربی با توجه به شرایط فنی و اقتصادی بهینه شود. از این رو مناسب ترین راهکار تغییر امتداد دیواره در نواحی مستعد این نوع لغزش است تا از مواجه شدن با چنین لغزشی جلوگیری شود.

۶- مراجع

- [1] آموزش، مصطفی؛ کریمی نسب، سعید؛ ۱۳۸۳؛ "تحلیل پایداری شبه گوه معدن مس سرچشمه بر اساس معیار هوک و براون"، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، ص ۸۱ تا ۸۸.
- [2] کریمی نسب، سعید؛ ۱۳۸۰؛ "لغزش شبه گوه ای سرچشمه و روش های مقابله با آن"، اولین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، ص ۲۴۷ تا ۳۵۴.
- [۳] منصور پناهی، علی؛ افسری نژاد، مهدی؛ جلالی فر، حسین؛ کریمی نسب، سعید؛ ۱۳۸۰؛ "پردازش اطلاعات نا پیوستگی ها در تحلیل پایداری شیب در معدن مس سرچشمه"؛ اولین کنفرانس معادن روباز ایران؛ ص ۱۷۷ تا ۱۸۲.
- [4] Dawson EM, Roth WH, Drescher A. *Slope stability analysis by strength reduction*. Géotechnique 1999;49(6):835-40.
- [5] Goodman ,R.E, Heuze,F.E.and Ohnishi ,Y.(1972).*Research on Strength , Deformability,water pressure Relationship for Fault in Direct Shear*, reprint niversity of California, erkeley, USA.
- [6] Itasca, Three dimensional distinct element code: user's guide. Minneapolis: Itasca Consulting Group, Inc; 1999.
- [7] Krahn J. 2001 R.M. Hardy Lecture: *the limits of limit equilibrium analysis*. Can Geotech J 2003;40(3):643-60.